

本研究にあたり、数量化 I 類による解析について御指導を頂いた農林水産省農業環境技術研究所環境立地研究室 主任研究官石田憲治博士に厚く感謝の意を表します。

# 文 献

- 1) ODA, M., YASUDA, Y., OKAZAKI, S., YAMACHI, Y. and YOKOYAMA, Y.: *Cereal Chem.*, 57, 253 (1980).
- 2) 小田聞多: 小麦と小麦粉, p. 8 (1988).
- 3) 星野次汪・福永公平・小田俊介: 育種学雑誌, 別冊 2, 35, 256 (1985).
- 4) 遠藤 繁・荏部園子・岡田憲三・長尾精一: 日食工誌, 35, 7 (1988).
- 5) 豊田政一: 農業および園芸, 65, 86 (1990).
- 6) NAGAO, S., ISHIBASHI, S., IMAI, S., SATO, T., KANBE, Y., OTSUBO, H.: *Cereal Chem.*, 54, 198 (1977).
- 7) 吉川 亮: 育種学雑誌, 別冊 2, 38, 234 (1988).
- 8) 食糧庁: 標準計測方法, p. 40 (1989).
- 9) JULIANO, B.O.: *Cereal Foods World*, 16, 334 (1971).
- 10) 食糧庁管理部検査課: 米麦の加工適性・安全性関連項目の測定方法, p. 15 (1990).
- 11) 渡辺英夫・鈴木 修: 日食工誌, 38, 44 (1991).
- 12) DEFFENBAUGH, L.B., WALKER, C.E.: *Die Stärke*, 42, 89 (1990).
- 13) 食糧庁管理部検査課: 米麦の加工適性・安全性関連項目の測定方法, p. 31 (1990).
- 14) 食糧庁管理部検査課: 米麦の加工適性・安全性関連項目の測定方法, p. 35 (1990).
- 15) 農林水産省食品総合研究所: 小麦の品質評価法—官能検査によるめん適性, (1985).
- 16) 田中 豊・垂水共之・協本和昌編: パソコン統計解析ハンドブック, II 多変量解析編 (共立出版(株)), p. 258 (1984).
- 17) 黒田 晃・小田俊介・宮川三郎・瀬古秀文: 育種学雑誌, 別冊 2, 39, 142 (1989).
- 18) 平 春枝・田中弘美: 日作紀, 55, 145 (1986).
- 19) 中島秀治: 農業および園芸, 65, 1373 (1990).  
(平成 3 年 2 月 13 日受理)

光ファイバーを用いた光散乱測定法による  
凝乳生成過程の連続観察

土井豊彦\*・神崎幹雄\*・中沼 浩\*・渋谷美雪\*・松本 清\*\*

The Continuous Observation of Milk Coagulation with  
Light Scattering by Means of Optical Fiber

Toyohiko DOI\*, Mikio KANZAKI\*, Hiroshi NAKANUMA\*, Miyuki SHIBUYA\*  
and Kiyoshi MATSUMOTO\*\*

\* Engineering Research Center, Morinaga Milk Industry Co., LTD.  
4-515, Tateno Higashiyamato-shi, Tokyo 207

\*\* Department of Food Science and Technology, Faculty of  
Agriculture, Kyushu University. 6-10-1 Hakozaki,  
Higashi-ku, Fukuoka-shi 812

The tendency of light scattering at milk coagulation was investigated by means of optical fiber for process control of cheese or yoghurt processing. Ingredient or measuring direction of light scattering or wave length was varied and also an optical fiber with modified tip was employed. The tips of both optical fibers from the light source and the sensor were immersed in mixed ingredient solution and light scattering were measured continuously. Raw output signal and first derivative of output signal from the amplifier for the sensor were recorded. In all processes tested under different conditions of cheese processing, the beginning of coagulation was observed at the location immediately after the first obvious peak on the first derivative curve. Similar results were also obtained in the case of yoghurt. The tendencies of light scattering were correlated to those of curd-tension measured simultaneously in cheese processing. Some experiments, in which concentration of rennet or concentration of calcium chloride or heat treatment of raw milk were varied, were carried out. Two obvious peaks were observed on most of first derivative curves. To make heavier the heat treatment of raw milk caused the height of the first peak lower and the second peak later. When the amount of rennet and/or calcium chloride were increased, the appearances of both of the first and the second peaks became faster and the height of the first peak was increased. The relations between the curd-tension values obtained after 60 minutes and the height of first peak or the appearance time of second peak were such that the higher the first peak became or the shorter the appearance time of the second peak became, the higher the curd-tension value tended to. The tendencies of light scattering depended on measured angle, but the locations of the peak on the first derivative curve coincided with each other. In the measurement of light scattering at the direction of 180°, when the tip of the double track optical fiber from the sensor and the light source was covered with plane glass plate, polarity of second peak reversed, and the whole shape of the light scattering curve showed reverse shape of the measuring curve at 0° with respect to abscissa. These observations are

\* 森永乳業(株) (〒207 東京都東大和市立野 4-515)

\*\* 九州大学 (〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1)

supposed to mean rapid shrinking of the clot at the second peak. No fundamental difference was observed in the results of light scattering pattern at the direction of  $180^\circ$ , with red light (660 nm) and green light (565 nm) in the cheese and also yoghurt processing. These results suggest that the size of casein micelle does not increase at coagulation. Light scattering measurement seemed to propose the possibility for monitoring of milk coagulation and for the prediction of the properties of finished curd.

(Received Apr. 26, 1991)

乳製品の中でも、チーズやヨーグルトは乳の凝集を利用して製造されるが、生成した凝乳の性質は製品の品質や製造工程に大きな影響を与える。また、その性質には原料や製造条件が大きく影響することもよく知られている。製造工程におけるそれらの評価は官能的に行なわれることが多いが、他の手段による試みもいくつか行なわれている。そのうち、光の散乱を利用した報告が HARDY ら<sup>1)</sup>や PAYNE ら<sup>2)</sup>によってなされているが、これらは凝集によって乳中のカゼインミセルの物理的な形態が変化し、それに伴って変化する光の散乱を利用したものである。このうち PAYNE らは光ファイバーを利用しているが、これは光源や検出部を試料から離れた場所に設置することができ、試料に対する物理的な影響も少ないなど製造工程での利用に適している。著者らは光ファイバーを利用して、光の散乱から凝集過程に関連した、より詳細な情報を得ることと、それらを製造工程に適用することを目的として実験を行った結果、いくつかの興味ある知見が得られたので報告する。

## 実験方法

### 1. 試料

生乳：使用当日牛乳工場に搬入されたものを採取し、抗生物質試験及びアルコール試験が陰性で、酸度が正常であることを確認して使用した。

スターター：高温殺菌 ( $121^\circ\text{C}$ , 2 秒) し、抗生物質が含まれていないことを確認した脱脂粉乳を使って調製した 10% 滅菌還元脱脂乳に、*Streptococcus thermophilus* 及び *Lactobacillus bulgaricus* を接種し、 $37^\circ\text{C}$  で 18 時間培養した後冷蔵した。

レンネット：クリスチャンハンセン(株)製 HA-LA レンネットパウダーを、使用当日、イオン交換水に溶解し使用した。これに含まれる活性凝乳酵素はチモンシと牛ペブシンである。

塩化カルシウム：和光純薬工業(株)製試薬特級を使用した。

### 2. 測定装置

散乱光強度測定装置：赤色光 (660 nm) で測定するときは図 1 (A) の装置を使用した。  $180^\circ$  方向の散乱光

の場合は 1 の複光路ファイバーの片側を発光側、反対側を受光側として使用した。  $90^\circ$  及び  $0^\circ$  の方向の散乱光の場合は 1 を光源として、それぞれ 2 及び 3 の単光路ファイバーを受光側として使用した。この場合、5 は光源のみ、4, 6 は受光センサーのみとして使用した。それぞれのファイバーの先端は半径 2 mm の円周上に配置し、先端は固定し振動等の影響を受けないように配慮した。緑色光 (565 nm) で測定する場合は図 1 (B) の装置を使用した。光源 (9) には緑色発光ダイオードを使用し、複光路ファイバー (8) で照射し  $180^\circ$  方向散乱光をフォトランジスター (10) で受けてアンプ (11) で増幅し記録した。フォトランジスターへの外部からの光の侵入を防ぐ為に、試料、発光ダイオード、フォトランジスターは遮光した。出力値の一次微分は移動平均変換器を使って、一定時間間隔でアンプ出力値から間隔毎の初期値を差し引く方法で行った。

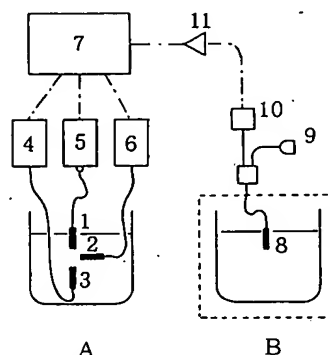


図 1 散乱光強度測定装置

実線は光路部、鎖線は電気信号線、破線は遮断部  
A：赤色光 (660 nm) による測定装置、B：緑色光 (565 nm) による測定装置、1：光ファイバー、オムロン製 E 32-D 61 (光源及び  $180^\circ$  方向散乱測定用)、2：光ファイバー、オムロン E 32-TC 200 ( $90^\circ$  方向散乱測定用)、3：光ファイバー、同 2 ( $0^\circ$  方向散乱測定用)、4, 5, 6：アンプ、オムロン E 3XA-CC 4 A, 7：レコーダー、横河電機 LR 8100, 8：光ファイバー、同 1, 9：緑色 LED, 10：フォトランジスター, 11：アンプ

カードテンションの測定：カードテンションメーター（中村医科理化機械製）に直径 2 cm のカードナイフを装着し、テーブル上昇速度 75 mm/min で測定した。

凝集モニター：著者ら<sup>3)</sup>の開発によるもので、ペルティエ素子の両側面のそれぞれ中央に面から 4 mm 離して感温センサー（熱電対等）を配したものである。液体に浸漬し素子に一定の直流電流を印加しておく、両面から、一定熱量の放出、吸収が起きる。液の粘性が高くなり、対流による熱の移動が困難になると、感温センサー周辺の温度が変化することにより、凝集等の発生時点を捉えることができる。

### 3. 測定方法

試料混合物を目的温度に調整し、恒温槽（東洋製作所製 ET-35 D）に浸し、凝集モニター及び、光ファイバーの先端を浸し静置状態で反応させ、その間、連続的に信号を記録した。散乱光の強度は、0～5 V の電圧信号に変換し、そのまま及び一次微分値として記録した。また、必要に応じて同一の仕込み液を 50 ml ビーカーに分注し、同一の恒温槽に保持し、適宜カードテンションを測定した。生乳の殺菌は、すべてマイクロ波オーブンで目的温度に昇温後、同一温度の恒温槽に移し、一定時間保持することにより行った。殺菌処理後は氷水に浸して撹拌しながら急冷した。

## 結果及び考察

### 1. 凝集開始時点の検討

チーズ製造時の乳の凝集の開始時点における赤色光、180° 方向散乱光強度の変化状態を調べた。凝集開始時点は凝集モニターで検知した。塩化カルシウムの添加量の異なる仕込みにおける散乱光強度を測定した結果を図 2 に示した。実験には 65°C、30 分殺菌乳を使用し、レンネット 30 ppm、スターター 2% に対して、塩化カルシウムをそれぞれ 0、2.5、5、10、20 mM の濃度となるように添加して測定した。測定はすべて 33°C で行った。散乱光強度の変化の様子は図 2 (A) のようにそれぞれ異なるが、凝集モニターによって捕捉された凝集の開始時点は、すべて散乱光の増加速度が測定開始後急激に増加した後に緩やかになる境界域に位置していた。この点は HARDY ら<sup>1)</sup>や PAYNE ら<sup>2)</sup>の報告とほぼ一致していたが、本実験では、それらに比べやや早い時期に検出された。これはカード生成の検出方法の違いによるもので、著者らの使用した方法がより早い時期に検出できるためと考えられる。この凝集の開始時点は、散乱光強度の一次微分曲線を見るとより明確であり、すべて最初

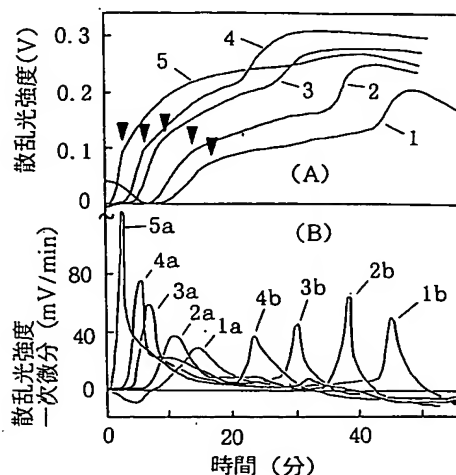


図 2 塩化カルシウム添加量の違いによる散乱光強度の変化

(A) は 180° 方向の散乱光強度、(B) はその一次微分値を示す。

レンネット添加量：30 ppm，スターター：2%，原料乳の殺菌条件：65°C、30 分；測定温度：33°C，塩化カルシウムの添加量：0 mM (1)，2.5 mM (2)，5 mM (3)，10 mM (4)，20 mM (5)，a：第 1 ピーク，b：第 2 ピーク，矢印は凝固開始点

に現れる明瞭なピーク（図 2 (B) の第 1 ピーク）の右側に位置していた。原料乳の殺菌条件やレンネットの添加量を変えて行った実験（後記）においても同様の結果が得られたので、この点が一般的な凝集の開始点と考えられる。なおヨーグルトについても発酵中の散乱光強度の変化を測定したところ、同様な結果が得られた。これらの実験の結果から本結果で用いた方法によって、凝集の開始時点をかなり適確に捕えうることが示唆された。

### 2. 散乱光強度とカードテンションとの関係

凝集状態と散乱光強度の関係を調べるために、赤色光、180° 方向散乱光強度及び生成したカードのカードテンションを経時的に測定した。結果は散乱光強度の微分値とともに図 3 に示した。カードテンションの値は散乱光強度の増加開始から数分後に急激な増加を示した後緩やかとなった。その後、散乱光強度の 2 段目の急激な増加に転じた時点からやや遅れてカードテンション値もゆるやかに増加した。したがって、散乱光強度の変化に相当する組織の変化がカードテンション値の変化とも関係があることが推測される。

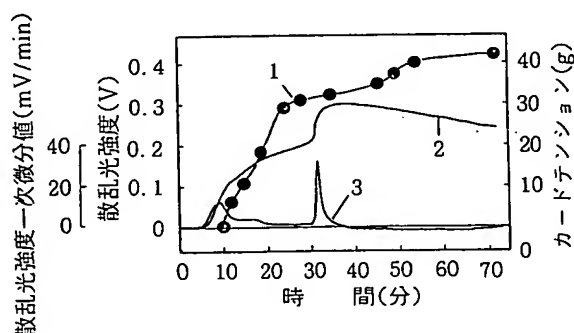


図 3 散乱光強度とカードテンション値との関係

65℃, 30 分殺菌乳使用, レンネット: 40 ppm 塩化カルシウム: 2 mM, スターター: 2%, 1: カードテンション, 2: 180° 方向散乱光強度, 3: 2 の一次微分値

### 3. 散乱光強度微分値の変化と生成した凝乳の性質との関係

凝集状態の異なる試料で観察を行うために, 塩化カルシウムの添加量, 原料乳の殺菌条件, レンネットの添加量を種々変えて実験を行ない, それぞれの赤色光, 180° 方向散乱光強度の変化を測定した. 塩化カルシウム添加量の違いについての実験の条件は結果及び考察の 1 に示した. 殺菌条件の違いについての実験では, 生のまま, 65℃, 30 分及び 75℃, 5 分の 3 条件で測定を行なった. 凝集時の条件は, 塩化カルシウム 5 mM, レンネット 40 ppm, スターター 2% とした. レンネット添加量の違いについての実験では, レンネット 10~50 ppm, 塩化カルシウム 5 mM, スターター 2% とし, 65℃, 30 分殺菌した乳を使用した. 測定中の保持温度はすべて 33℃ とし, 測定開始から経時的に散乱光強度の一次微分値およびカードテンション値を測定した. 得られた散乱光強度変化の一次微分曲線の一例 (塩化カルシウム添加量の違いによる変化) は図 2 (B) に示した. 原料乳の殺菌条件及びレンネットの添加量の違いについても同様の变化曲線が得られた. これらの実験結果については一次微分曲線のピークの位置と高さで表わし, それぞれ表 1 及び表 2 に示した. 散乱光強度の一次微分曲線には 2 つの明瞭なピークがみられ, その位置と高さが各条件によって変化することがわかった. 原料乳の殺菌条件の違いによる第 1 ピークの位置の変化はほとんど無かったが, ピークの高さは加熱処理区の方がやや大であった. 一方, 第 2 ピークの位置は加熱処理によって変化し, その強さが増すとピークの出現がおくれる傾向がみられた. レン

表 1 殺菌条件と散乱光強度一次微分曲線における各ピークの位置及び高さとの関係

殺菌条件	第 1 ピーク		第 2 ピーク	
	位置 (min)	高さ (mV/min)	位置 (min)	高さ (mV/min)
生 乳	11.4	31.2	33	69.6
65℃, 30 分	10.2	34.8	40	67.2
75℃, 5 分	10.2	36	60	74.4

レンネット: 40 ppm, 塩化カルシウム溶液: 5 mM, スターター: 2%.

表 2 レンネット添加量と散乱光強度一次微分曲線における各ピークの位置及び高さとの関係

レンネット 添加量 (ppm)	第 1 ピーク		第 2 ピーク	
	位置 (min)	高さ (mV/min)	位置 (min)	高さ (mV/min)
10	29.7	20.0	66.9	62.5
20	14.5	47.5	41.7	67.5
30	12.0	57.5	26.5	87.5
40	5.7	77.5	20.8	67.5
50	5.0	102.5	19.6	90

塩化カルシウム: 5 mM, スターター: 2%, 原料乳の殺菌: 65℃, 30 分.

ネットの添加量を変えた実験においては, 添加量が増すと, 第 1, 第 2 ピークとも出現が早くなり高さは増加した. また, 塩化カルシウムの添加量を変えた実験においても, ほぼ同様の傾向が見られた (図 2 (B)). とくに第 1 ピークの高さには顕著な増加がみられた. 第 1 ピークの高さ及び第 2 ピークの位置を 60 分後のカードテンション値に対してプロットし, それぞれ図 4, 図 5 に示した. この結果, 第 1 ピークの高さが高いほど凝乳のカードテンション値が高くなり (図 4), 一方, 第 2 ピークの出現が遅くなるほどカードテンション値は小となり, 凝乳が軟らかくなる傾向がみられた (図 5). したがって, 散乱光強度の一次微分曲線にみられる主なピークの高さや出現までの時間から, 凝乳の生成状況や, 生成する凝乳のカードテンション値を予測することも可能であろうと思われる.

### 4. 異なる角度による散乱光の測定

測定に使用した光線は完全な平行光線ではないので正確な角度による散乱光の変化は測定できなかった. そこで, 散乱角度の大きな違いによって散乱光強度が相違するかどうかを調べるために, 光源方向に対して 0°, 90°

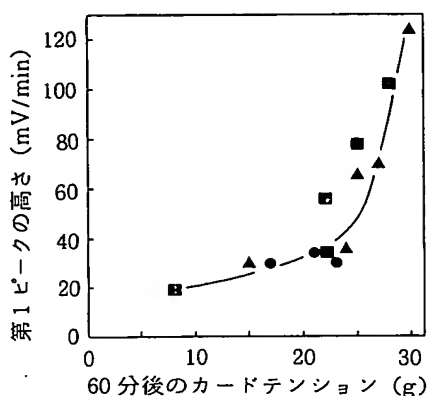


図 4 散乱光強度一次微分曲線の第 1 ピークの高さとカードテンション値との関係

●：原料乳の殺菌条件を変えた実験（表 1），▲：塩化カルシウムの添加量を変えた実験（図 2），■：レンネットの添加量を変えた実験（表 2）の各測定値を示した

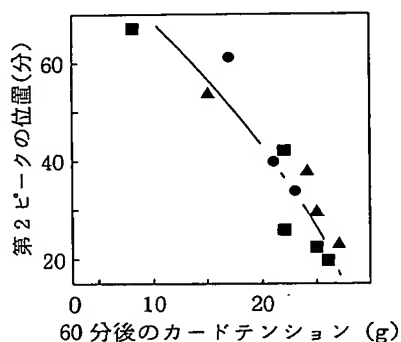


図 5 散乱光強度の一次微分曲線の第 2 ピークまでの時間とカードテンション値との関係

●：原料乳の殺菌条件を変えた実験（表 1），▲：塩化カルシウムの添加量を変えた実験（図 2），■：レンネットの添加量を変えた実験（表 2）の各測定値を示した

及び  $180^\circ$  方向で測定を行った。試料は  $65^\circ\text{C}$ 、30 分殺菌乳を使用し、測定結果を図 6 に示した。 $180^\circ$  (1) では散乱光強度は増加したが、 $90^\circ$  (2) 及び  $0^\circ$  (3) では、測定開始から約 25 分までは低下し、その後増加に転じた。

(1) の場合も約 25 分後に 2 段目の急上昇がみられた。つまり、25 分後の時点から後方散乱、透過光のいずれも増加を始めたことを示唆している。さらにこの現象を観察するために複光路光ファイバーの先端に投、受光部

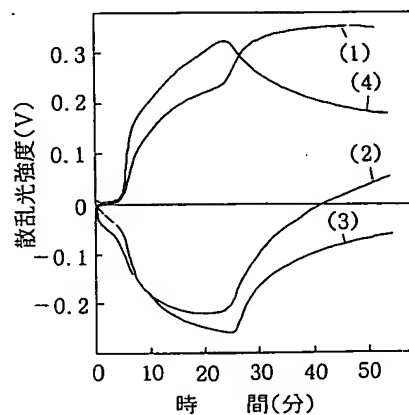


図 6 受光角度の違いによる散乱光強度の変化

$65^\circ\text{C}$  30 分殺菌乳使用，レンネット 40 ppm，塩化カルシウム 2 mM，スターター 2%，(1)： $180^\circ$ ，(2)： $90^\circ$ ，(3)： $0^\circ$  及び (4)：複光路光ファイバーの先端に 1.4 mm 厚さのガラス板を接着して測った  $180^\circ$  方向の散乱光強度

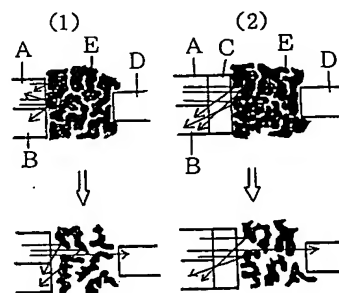


図 7 凝乳塊収縮による散乱光変化模式図

(1)：反射光測定用光ファイバー先端が露出したもの、(2)：同先端にガラス板を接着したもの。A：投光用光ファイバー，B： $180^\circ$  方向散乱光受光用光ファイバー，C：厚さ 1.4 mm ガラス板，D： $0^\circ$  方向散乱光受光用光ファイバー，E：凝集塊，小矢印：光線，大矢印：時間の経過。

共通の 1.4 mm 厚のガラス板を接着し、それを通して  $180^\circ$  方向の散乱光を測定したのが (4) であるが、この場合は (2) 及び (3) と対称的なパターンを示した。つまり、ガラス板なしで測定した場合の 2 段目の急激な増加点は、ガラス板を付けた場合の急激な減少点として観測され、(2) 及び (3) での急激な増加とよく符合しているように思われる。なお、一次微分曲線における第 1 ピークと第 2 ピークの位置はすべてよく一致した。 $180^\circ$

表 3 異なる測定波長における 180° 方向散乱光強度一次微分曲線の第 1, 第 2 ピークの位置

塩化カルシウム濃度 (mM)	第 1 ピーク位置 (min)		第 2 ピーク位置 (min)	
	赤色光	緑色光	赤色光	緑色光
2.5	8.7	8.7	39.1	39.2
5.0	7.4	7.4	30.4	30.2
10.0	5.2	5.2	19.1	19.1

生乳殺菌条件: 65°C, 30 分, レンネット: 30 ppm,  
スターター: 2%, 赤色光: 660 nm, 緑色光: 565 nm.

での測定において, ガラス板の有無により測定曲線が異なる理由については, もし第 2 ピークの時期に, 凝集した凝集塊または組織の急激な収縮が生じたと仮定すれば次のような推定が可能である. それを図 7 の模式図に示した. すなわち, ガラス板の無い光ファイバー (1) では大きな凝集塊が投光側の光の出口に密着し, 塞いでしまうために, 180° 方向の散乱光として受光窓に達する光の量は少ない (上図) が, 凝集塊が収縮をはじめると, 凝集塊の隙間が開き, 投光窓から光が出やすくなり, 180° 方向散乱光も増加する (下図). 一方, ガラス板を付けた光ファイバー (2) では, 投光窓に凝集塊が密着しても光の出口が塞がれることは無く, 凝集等の状態に対応した散乱光が受光窓に達しうる (上図). 凝集塊が収縮をおこすと, 透過光が増加する分だけ 180° 方向への散乱光は減少する (下図). いずれの場合も凝集塊の収縮に伴って透過光 (0° 方向散乱光) は増加する. これらの点については引き続き検討を行いたい.

これらの実験結果から, いずれの角度でも同様な測定が可能であることがわかった. 装置の簡便性からは, 180° 方向の測定が最適と考えられる.

##### 5. 異なる波長で測定した散乱光強度曲線の比較

凝乳生成時のカゼイン粒子の変化についての清沢ら<sup>4)5)</sup>及び成木<sup>6)</sup>の報告においては, 粒子の形状や大きさの変化が明らかにされたとは言えないが, 何らかの形態や大きさの変化を伴うことは考えられるようである. 一方, BARNES ら<sup>7)</sup>は, 粒子の大きさによって光の波長に対する散乱光強度の状態が異なることを示している. この報告のように, もし観測された凝乳の散乱光強度の変化が, カゼイン粒子等の粒子径の経時的変化を反映しているのであれば, 測定波長によって散乱光強度の変化曲線が時間軸に関してずれることが予想される. そこで,

赤色光 (660 nm) と緑色光 (565 nm) において 180° 方向の散乱光を測定した. その際, 塩化カルシウムの添加量を変えた, 凝集状態の異なる試料を使用した. 結果は, 表 3 に示したように, 一次微分曲線の第 1 及び第 2 ピークの位置には試料間の差はみられなかった. さらに, 同様の測定を, レンネットの添加量を変化させた試料及び, ヨーグルトについても行ったが, いずれも波長による基本的な形状の違いはみられなかった. したがって, これらの凝乳過程においては, 粒子の径の変化を伴わないことも考えられる.

##### 要 約

(乳の凝集過程を, 光の散乱強度の変化で連続的に観察することを試みた. 光ファイバーを用いて, まず赤色光 (660 nm) の 180° 方向散乱光を測定した. 乳の凝集過程においては, 散乱光の強度が急激な増加からより緩やかな増加に変わる明瞭な点がみられ, この時期に凝集が開始した. その点は散乱光強度の一次微分曲線における最初のピークの右側に位置した. カードテンションの値は散乱光強度の値よりやや遅れて増加した. 原料乳の殺菌条件やレンネットあるいは塩化カルシウムの添加量を変化させて行ったチーズの製造実験では, いずれも散乱光強度の一次微分曲線には 2 つの明瞭なピークがみられた. 同時に測定した開始 60 分後のカードテンション値と, 第 1 ピークの高さ及び第 2 ピーク出現までの時間との間には関連がみられ, 第 1 ピークの高さが高いほど, あるいは第 2 ピーク出現までの時間が短いほど, カードテンション値が高くなる傾向がみられた. 光源方向に対して, 0°, 90° 及び 180° の方向で測定した散乱光強度の変化曲線は同一ではなかったが, その一次微分曲線に見られる特徴的なピークの位置はすべて一致した. また 180° 方向の散乱光強度の一次微分曲線には 2 段目の上昇がみられたが, 光ファイバーの先端にガラス板を付けた場合には逆に低下し, 0° 方向の散乱光強度変化の一次微分曲線と散乱光強度軸に関して対称形となった. このことは, この時点における, 凝集塊の急速な収縮を示唆していると推測された. 異なる波長で測定した散乱光強度の一次微分曲線にみられる 2 個のピークの位置はそれぞれ一致した.

これらの実験の結果, 光ファイバーを用いて散乱光を測定する方法により, 凝乳の進行状態に関する有効な情報が得られることがわかった.

## 文 献

- 1) HARDY, J., FANNI, J.: *J. Food Sci.*, 46, 1956 (1981).
- 2) PAYNE, F.A., MADANGOPAL, S., HICKS, C.L. and SHEARER, S.A.: An American Society of Agricultural Engineers/Canadian Society of Agricultural Engineering Meeting, paper No. 89-6003, Quebec Canada, 1989.
- 3) 土井豊彦・神崎幹雄・渋谷美雪・松本 清：日食工誌, 38, 990 (1991).
- 4) 清沢 功・定近一夫・前野正久：日畜会報, 29, 33 (1958).
- 5) 清沢 功・定近一夫・前野正久：日畜会報, 29, 41 (1958).
- 6) 祐川金次郎：MILK PROTEIN, 再版 (酪農技術普及学会, 東京), p. 227 (1974).
- 7) BARNES, M.D. and LA MER, V.K.: *J. Colloid Sci.*, 1, 79 (1946).

(平成3年4月26日受理)